SERVOMECANISMO 2208

MANUAL DE EXPERIÊNCIAS E CALIBRAÇÃO

SERVOMECANISMO 2208

MANUAL DE EXPERIÊNCIAS E CALIBRAÇÃO

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - SISTEMA DE CONTROLE DE POSIÇÃO E / OU VELOCIDADE ANGULAR 1

1.1 INTRODUÇÃO 1

CAPÍTULO 2 - MÓDULO 2208 SERVOMECANISMO 2

2.1 TRANSDUTORES 3

2.2 DRIVER DE ACIONAMENTO 4

2.3 CONECTOR 4

CAPÍTULO 3 - MODELAGEM MATEMÁTICA DO SISTEMA DINÂMICO 5

CAPÍTULO 4 - IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA 7

CAPÍTULO 5 - CONTROLADORES ELETRÔNICOS ANALÓGICOS 9

CAPÍTULO 6 - CONTROLADORES ELETRÔNICOS DIGITAIS 11

6.1 UTILIZAÇÃO DE PLACAS DE AQUISIÇÃO NO MÓDULO SERVO 2208 11

CAPÍTULO 7 - UTILIZAÇÃO DE OUTROS EQUIPAMENTOS DE CONTROLE COM O MODULO 2208 12

CAPÍTULO 8 - EXEMPLOS 13

8.1 EXEMPLO 1 13

8.2 EXEMPLO 2 15

CAPÍTULO 9 - EXPERIÊNCIAS 18

9.1 EXPERIÊNCIA 1 18

9.2 EXPERIÊNCIA 2 19

9.3 EXPERIÊNCIA 3 20

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

9.4 EXPERIÊNCIA 4 23

9.5 EXPERIÊNCIA 5 24

9.6 EXPERIÊNCIA 6 26

CAPÍTULO 10 - CALIBRAÇÃO DO MÓDULO SERVO 2208 29

10.1 INTRODUÇÃO 29

10.2 TESTE INICIAL 29

10.3 CALIBRAÇÃO 29

10.4 IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE ACESSOS DO CONECTOR 30

CAPÍTULO 11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 31

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

CAPÍTULO 1 - SISTEMA DE CONTROLE DE POSIÇÃO E / OU VELOCIDADE ANGULAR

1.1 INTRODUÇÃO

Sistemas de controle de posição e/ou velocidade angular são frequentes em alguns processos e equipamentos industriais, como exemplo pode-se citar: braços de robôs; máquinas ferramentas; antenas de radar; correias transportadoras; misturadores; laminadores; e outros. Nestes processos determinadas grandezas físicas necessitam ser controladas visando obter características operativas específicas. O desenho da figura 1 ilustra uma estrutura típica. Dispositivos como motores *M* acionam transmissões mecânicas (engrenagens, polias, etc.) produzindo movimentos angulares em braços de robôs, pás de misturadores, cilindros de laminadores, etc. As grandezas típicas geralmente controladas são o deslocamento angular θ e/ou a rotação *W*. Informações de ângulos são fornecidas através de transdutores específicos. Como exemplo de transdutor de deslocamento angular T_a pode-se listar: servos potenciômetros; transformadores rotativos; sincros; resolvers; encoders; etc. Informações de rotações são dadas através de transdutores próprios, como exemplo de transdutor de rotação T_r pode-se citar os tacômetros, encoders, etc. Instrumentações associadas aos transdutores fornecem sinais elétricos (em tensões ou correntes) proporcionais as grandezas medidas (neste exemplo as variáveis V_θ e V_W).

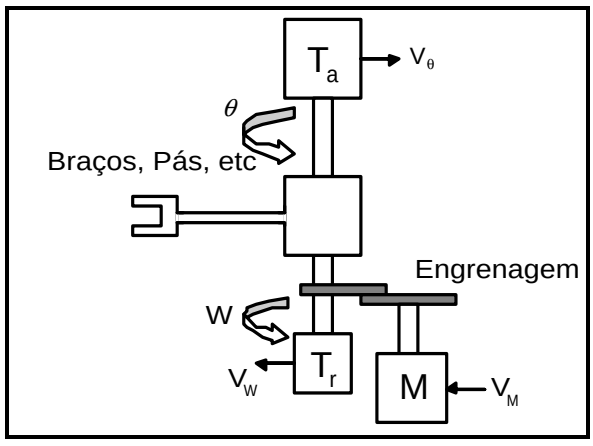


Figura 1 – Exemplo de Processo

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

CAPÍTULO 2 - MÓDULO 2208 SERVOMECANISMO

O servomecanismo é constituído por dois transdutores, servomotor, driver de acionamento, conector de acesso, protoboard e fontes de alimentação. A figura 2 ilustra o módulo 2208 com seus respectivos blocos. A figura 1 e o diagrama da figura 3 ilustram a instrumentação empregada no Módulo Servomecanismo 2208.

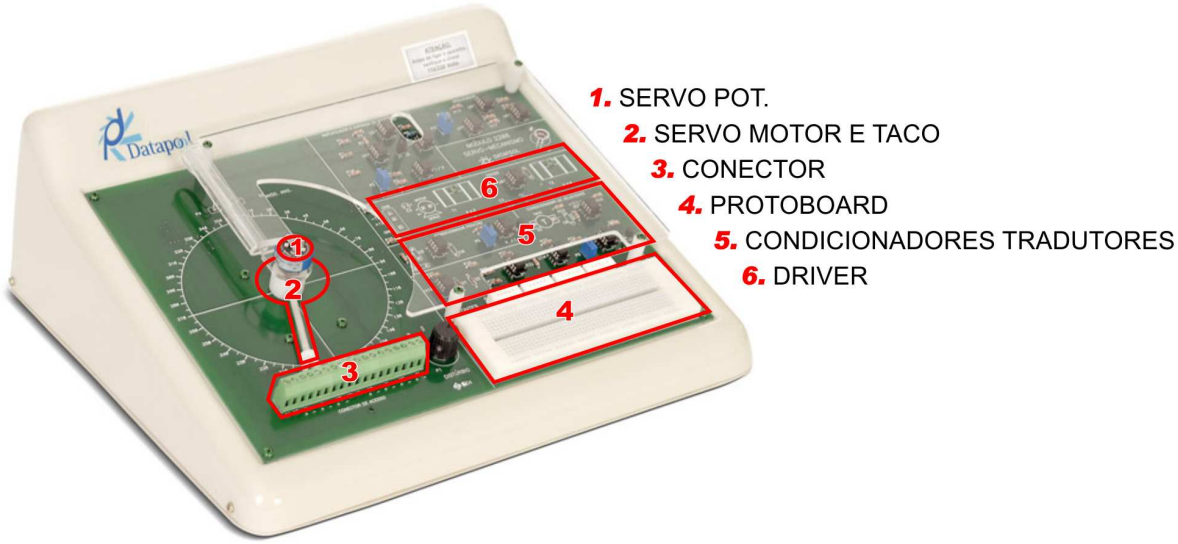


Figura 2 – Módulo 2208 – Servomecanismo

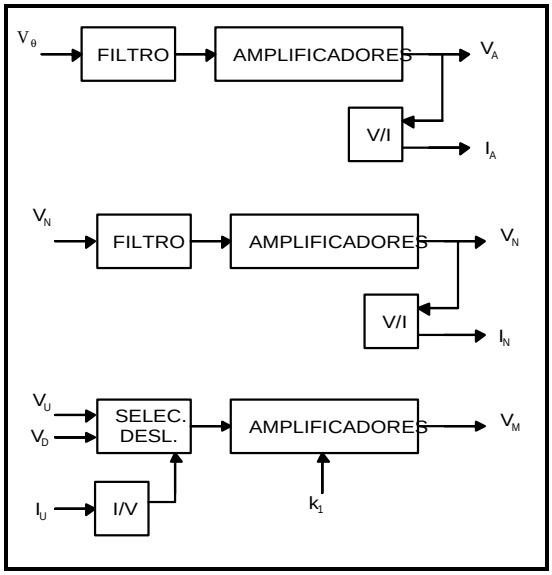


Figura 3 – Instrumentação do servomecanismo

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

O bloco *V/I* representa um circuito eletrônico que converte um sinal de tensão em uma corrente proporcional. O bloco *I/V* representa um circuito eletrônico que converte um sinal de corrente em uma tensão proporcional. Padrões de 0 a 5V e 0 a 20mA são muito empregados na maioria dos equipamentos de medidas e controles industriais.

Este módulo pode ser ligado a qualquer equipamento de controle (controladores de malhas analógicas, controladores digitais, controladores lógicos programáveis, placas de aquisição de dados, etc.) que tenham entradas e saídas analógicas em níveis de 0 a +5 [V] ou de 0 a 20 [mA]. É necessária uma saída analógica para o sinal de comando, uma entrada analógica para a informação de posição angular ou para o sinal de rotação nas experiências de controle de posição ou velocidade. Para malhas de controle de posição com realimentação adicional de rotação são necessárias duas entradas analógicas.

Em equipamentos de controle digitais é recomendado que essas entradas e saída analógicas tenham resolução mínima de 8 bits para não comprometer as precisões das medidas. Recomenda-se um tempo de varredura menor que 100 [ms] para atender os requisitos de resposta dinâmica do sistema (melhor se for igual ou menor que 10 [ms]).

Todos os circuitos eletrônicos necessários para o condicionamento de sinais do servo-mecanismo, tais como os filtros, amplificadores, retificador, conversores de tensão para corrente, corrente para tensão, deslocador e *driver*, foram implementados através de amplificadores operacionais, transistores, diodos, capacitores, resistores fixos e variáveis (*trimpots*).

2.1 TRANSDUTORES

A instrumentação de cada transdutor contempla etapas específicas de amplificação, filtragem e transmissão de valores dos sinais das grandezas físicas em níveis compatíveis com os equipamentos que irão usar estas informações. Estas etapas usualmente recebem a denominação de condicionamento de sinais. Elas são necessárias para atender os requisitos dos equipamentos que receberão estes dados para aplicações diversas tais como: medições; controles; supervisões; etc.

Como transdutor de deslocamento angular é usado um servo potenciômetro alimentado com uma fonte de tensão fixa regulada. Deslocamentos angulares no eixo deste potenciômetro variam proporcionalmente a tensão V_θ do seu cursor. Este sinal passa por um filtro visando minimizar eventuais ruídos elétrico que possam ser induzidos, devido à comutação dos coletores do motor de acionamento da parte mecânica do sistema de posicionamento. Este sinal é amplificado por um amplificador eletrônico (bloco *Amp* no desenho) visando atender a condições de níveis dos equipamentos que possam usar essa informação resultante V_A, que está disponível na faixa de 0 a +5 [V] e também em sinal de corrente I_A na faixa de 0 a 20 [mA] obtida através de um conversor V/I.

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

Como transdutor de rotação é usado um tacômetro que fornece um sinal de tensão V_W proporcional à rotação do seu eixo. Este sinal passa por um filtro visando minimizar eventuais ruídos elétrico devido à comutação dos seus próprios coletores (este tacômetro é uma pequena máquina elétrica de imã permanente funcionando como gerador), e também de outros ruídos externos. Este sinal é retificado e amplificado por um amplificador eletrônico (*Amp*) visando atender a condições de níveis dos equipamentos que possam usar essa informação resultante V_n, que está disponível na faixa de 0 a +5 [V]. Esse dado também é apresentado em sinal de corrente I_n na faixa de 0 a 20 [mA] através de um bloco *V/I*.

2.2 DRIVER DE ACIONAMENTO

Os motores de acionamento destes sistemas podem ser comandados pelo nível da grandeza V_M, por exemplo, se for usado um motor de corrente contínua esta grandeza física pode ser o nível da tensão de armadura do mesmo. Com a finalidade de alterar essas tensões de comando são utilizados amplificadores de potência, também conhecidos como *driver*s. Atualmente estes dispositivos são implementados através de chaves eletrônicas estáticas de potência como transistores, IGBT's, SCR's, e outras.

Como motor de acionamento é empregado um servo-motor de corrente contínua de imã permanente acoplado a um conjunto de engrenagem que aciona a parte mecânica (braço/ponteiro) do sistema de posicionamento e/ou de rotação angular. Um *Driver* linear a transistores modifica a tensão de armadura do motor a partir de sinais de comando V_u, V_D ou I_u de baixa potência. Os sinais de comando podem estar na faixa de –5 a +5 [V], 0 a +5 [V] ou 0 a 20 [mA]. A seleção (*Selec.*) das faixas de operação é feita através dos conectores de acesso dos sinais, e também por um circuito eletrônico deslocador (*Desloc.*) de nível e um circuito conversor *I/V* de corrente para tensão. O *driver* amplifica estes sinais em outro sinal V_M com capacidade de até +/-12 [V] e 1,5 [A] para acionamento do motor. Um sinal adicional K_1 (junto com K_2) serve para provocar variações de torque no motor visando introduzir distúrbios no sistema.

2.3 CONECTOR

A seleção dos sinais de operação é feita através dos conectores de acesso disponíveis no módulo. O desenho da figura 4 indica todos os sinais e o respectivo conector de acesso para ligar este módulo a outros equipamentos de medição, controle, etc.

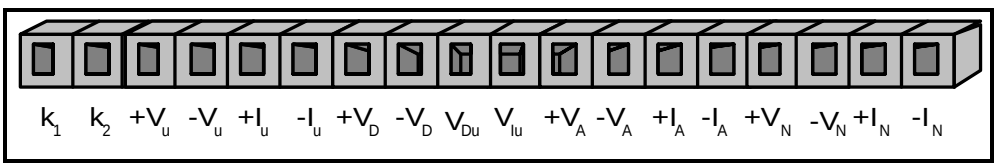


Figura 4 – Conector de acesso

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

CAPÍTULO 3 - MODELAGEM MATEMÁTICA DO SISTEMA DINÂMICO

Sistemas de controle devem apresentar características de resposta previamente especificadas. Para esta finalidade é necessário sintonizar os parâmetros dos controladores empregados. Isto pode ser realizado de maneira eficiente se for conhecido algumas informações básicas sobre o processo a ser controlado, em outras palavras é necessário conhecer o modelo dinâmico do sistema.

A modelagem matemática de sistemas dinâmicos é realizada através de leis físicas que representem os processos e plantas reais de forma mais precisa possível, e/ou através de medidas experimentais das entradas e saídas de interesse dos sistemas. Os modelos matemáticos resultantes geralmente são expressos através de equações diferenciais, equações a diferenças, funções de transferência ou variáveis de estado.

O servomecanismo e processos similares podem ser representados matematicamente levando em consideração algumas características físicas. As partes móveis do sistema podem ser representadas através de um momento de inércia J e de um coeficiente de atrito B equivalentes as partes mecânicas do processo que estão girando, e são associadas a um torque dado por:

$$T_C = J\overset{o}{w} + Bw$$

Este valor é o torque mecânico T_M desenvolvido pelo motor descontando um torque de distúrbio T_d ocasionado por variações que aparecem em sistema práticos tais como: modificações de atrito nas pás de um misturador devido a alterações de densidades dos produtos misturados; resistência provocada pelo deslocamento da ferramenta de um torno automático em um bloco ou peça sendo desgastada; esforço do vento batendo na estrutura de uma antena de radar; etc. O torque gerado pelo motor é proporcional a corrente do mesmo, ou seja: $T_M = c_2 I_M$. Esta corrente depende da tensão aplicada no motor, da tensão E induzida internamente, da resistência R_a e da indutância L_a de armadura, ou seja:

$$\begin{aligned} V &= V_M - E \\ V &= L_a \overset{o}{I}_M + R_a I_M \end{aligned}$$

A tensão induzida é proporcional a rotação do motor: $E=c_1 w$. Aplicando a transformada de Laplace nestas equações e juntando-as obtém-se a função de transferência que relaciona a rotação do sistema com a tensão aplicada no motor, a equação (1). Para outros modelos ver [Ogata, 1998].

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

$$\frac{w(s)}{V_M(s)} = \frac{c_2}{L_a J s^2 + (R_a J + L_a B)s + R_a B + c_1 c_2} \qquad (1)$$

Outra função de transferência possível para este sistema é aquela que relaciona o deslocamento angular θ do processo pela tensão aplicada. Conhecida a relação entre a velocidade e o deslocamento angular, dado por:

$$w = c_3 \overset{o}{\theta}$$

obtém-se a função (2). Os parâmetros de sistema práticos podem ser obtidos através de medições, ensaios e dos dados dos fabricantes dos elementos constituintes do processo (informações nem sempre disponíveis).

$$\frac{\theta(s)}{V_M(s)} = \frac{c_2}{s(L_a J s^2 + (R_a J + L_a B)s + R_a B + c_1 c_2)c_3} \qquad (2)$$

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

CAPÍTULO 4 - IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA

Outra maneira de obter modelos de sistemas dinâmicos é empregar métodos de identificação, ver [Aguirre, 2000]. Através de medidas experimentais das entradas e saídas de interesse de um sistema é possível computar estas medidas e obter um modelo aproximado expresso através de equações matemáticas.

Para o sistema de velocidade, no servomecanismo, foi realizado um ensaio aplicando um degrau na entrada de comando V_u do *driver* do motor, e mediu-se o sinal resultante V_n da informação de velocidade. Foram utilizados valores de sinais na entrada de comando do sistema de maneira que ele respondesse na sua faixa de operação linear. A figura 5 ilustra o gráfico obtido no ensaio de resposta ao degrau.

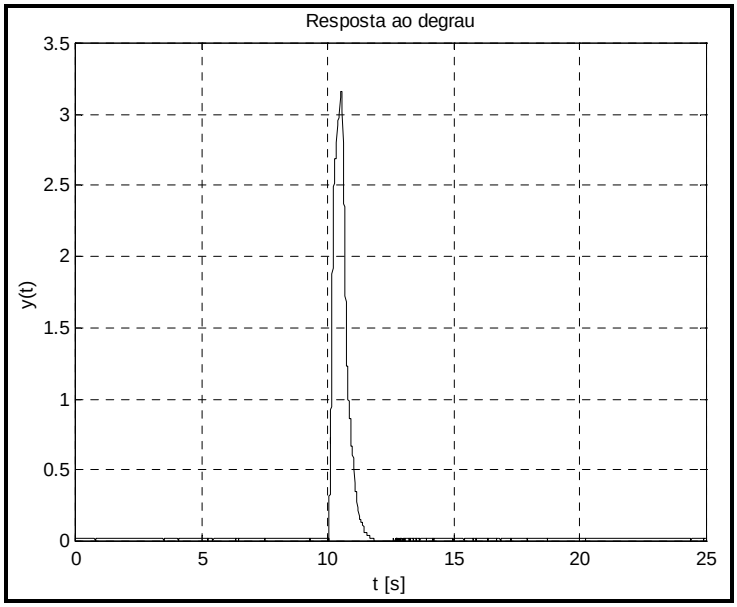


Figura 5 – Resposta ao degrau

Os comandos do Matlab para obter a identificação são:

- *v=[y(1000:2500) DU(1000:2500)]; <Enter>*
- *v=[y' DU'];*
- *modelo=arx(v,[4 4 1]); <Enter>*
- *[Nz,Dz]=th2tf(modelo) <Enter>*
- *[Ns,Ds]=d2cm(Nz,Dz,0.01,'zoh')*

O comando *arx* (*Toolbox/Ident*) gera o modelo a partir dos dados de entrada e saída do sistema, os valores entre colchetes representam o número de zeros, pólos e atrasos respectivamente da representação do modelo.

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

O comando *th2tf* retorna os coeficientes da equação a diferenças da modelagem. Portanto, a função de transferência equivalente é expressa por (3), que é o modelo aproximado para a ponteira/haste em forma de braço. A validação da identificação pode ser feita simulando a equação do modelo com os dados medidos.

$$G(s) = \frac{V_n(s)}{V_u(s)} = \frac{15{,}8}{0{,}058s^2 + 5{,}51s + 7.97} \qquad (3)$$

No caso do sistema de posição, tem-se a função de transferência $\theta(s)/V_M(s)$ *que* é a função $w(s)/V_M(s)$ adicionada de um pólo na origem, com um novo ganho, expressa por (4).

$$G(s) = \frac{V_A(s)}{V_u(s)} = \frac{13.77}{s(0{,}058s^2 + 5{,}51s + 7{,}97)} \qquad (4)$$

O tacômetro opera de maneira bem linear na faixa de rotação operacional do conjunto servomotor elétrico e conjunto de engrenagem que movimenta o braço/ponteira do sistema. O servo potenciômetro gira continuamente operando de forma bem linear de 0^0 até aproximadamente 345^0, daí até 360^0 existe uma zona morta na qual o mesmo não responde. A parte elétrica, eletrônica e mecânica de acionamento do conjunto servo-motor e engrenagem apresenta uma zona morta para sinais de comando V_u de aproximadamente +/- 0,5 [V], mais uma saturação na tensão de acionamento do motor V_M em torno de +/- 9 [V].

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

CAPÍTULO 5 - CONTROLADORES ELETRÔNICOS ANALÓGICOS

Os controladores ou compensadores analógicos são circuitos eletro-eletrônicos, responsáveis em processar os sinais dos transdutores dos processos a serem controlados, fornecendo sinais de comandos que façam os sistemas serem estáveis, rejeitarem distúrbios, variações de parâmetros e/ou modificarem suas respostas dinâmicas. O diagrama em blocos ilustrado na figura 6 mostra uma malha de controle típica, onde o sistema a ser controlado é Módulo de Servomecanismo 2208.

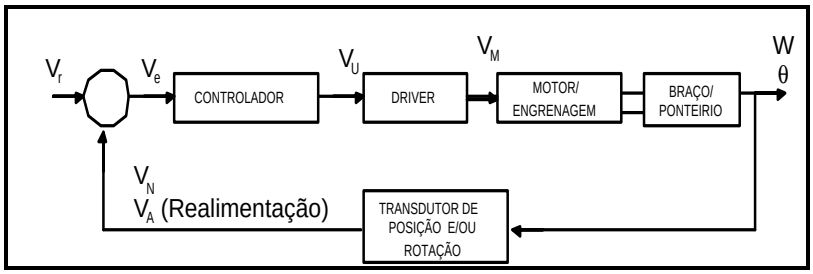


Figura 6 – Malha de controle típica

A estrutura básica mostrada é genérica e pode ser usada no controle de muitos outros processos ou plantas reais. O valor desejado na saída do sistema é definido pelo valor de Vr, conhecido como referência ou set point. Este valor subtraído do sinal de realimentação V_N é chamado de valor de erro Ve. O controlador processa esta informação, fornecendo o sinal de comando V_A para o sistema. Os controladores ou compensadores mais frequentemente utilizados na prática são os do tipo PID ou Lead/Lag. A equação ideal de um compensador PID é representada por (5).

$$Vu(t) = KpVe(t) + Ki\int Ve(t)dt + Kd\frac{dVe(t)}{dt} \qquad (5)$$

O nome PID vem dos respectivos efeitos das partes proporcional, integral e derivativa da equação. A constante ou parâmetro Kp é conhecido como ganho proporcional, Ki como ganho integral e Kd como ganho derivativo. Se o ganho da parte derivativa for nulo, tem-se um controlador PI. Se o ganho da parte integral for nulo, o controlador é do tipo PD. E, assim, para um tipo P, etc.

Outra maneira de representar esta equação é através de sua função de transferência expressa por (6). A função típica de um controlador Lead ou Lag é representada através de (7), onde os parâmetros a_0, a_1 e b_1 definem as características de avanço ou atraso de fase deste tipo de compensador.

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

$$C(s)_{PID} = \frac{Vu(s)}{Ve(s)} = Kp + \frac{Ki}{s} + sKd = \frac{Kds^2 + Kps + Ki}{s} \quad (6)$$

$$C(s)_{Lead/Lag} = \frac{Vu(s)}{Ve(s)} = \frac{a_1 s + a_0}{b_1 s + 1} \quad (7)$$

Os ganhos ou parâmetros dos controladores/compensadores vão impor determinadas características nas respostas dos sistemas de controle, tais como: máximo pico; tempo de acomodação; erro em regime permanente; etc. Essas características são especificadas conforme as necessidades, ou exigências, de cada malha de controle de um processo ou planta. A obtenção desses ganhos ou parâmetros pode ser realizada de várias maneiras. Experimentalmente, modificando os ganhos do controlador, registrando a resposta do sistema e verificando se as características especificadas foram alcançadas. E usando regras de sintonia empíricas tipo Ziegler-Nichols, empregando métodos de resposta em frequência ou lugar das raízes.

A função ideal de um compensador *D* (*sKd*) não é utilizada na prática por motivos de sensibilidade a ruídos, seu módulo cresce indefinidamente com a frequência. Na prática é utilizada a função *sKd/(sCd+1)*, onde o valor do parâmetro *Cd* é usualmente igual, ou até dez vezes menor que o ganho derivativo *Kd*. Isto garante uma limitação do módulo da função em altas frequências minimizando a sensibilidade a ruídos da parte derivativa de um controlador tipo *D*. Algumas vezes é utilizada também a parte integral do controlador para melhorar ainda mais esta minimização de ruídos e também para otimizar erros em regime permanente. Um controlador *PD* é um tipo de compensador de avanço de fase e um *PI* de atraso de fase, assim um *PID* pode ter uma ação predominante tipo avanço ou atraso dependendo dos ganhos do controlador.

Estando o sistema operando dentro da sua faixa de atuação linear, é possível usar métodos clássicos de projeto e sintonia de controladores PID ou Lead/Lag para este módulo. Em faixas não lineares, usam-se outras técnicas que não serão tratadas aqui.

Os controladores analógicos são implementados através de resistores, capacitores e amplificadores operacionais. Os ganhos dos controladores são dados por relações de resistores e capacitores.

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

CAPÍTULO 6 - CONTROLADORES ELETRÔNICOS DIGITAIS

Os controladores eletrônicos digitais têm sido largamente empregados em malhas de controle de processos, por apresentarem algumas vantagens em relação aos analógicos. Como vantagens pode-se citar: flexibilidade em alterações de parâmetros ou ganhos dos compensadores, uma vez que essas informações estão relacionadas apenas com dados armazenados nas memórias dos circuitos dos controladores, e não com valores de resistores e capacitores como ocorre nos analógicos; apresentam menores sensibilidades a variações de temperatura e umidade ambiental, do que os circuitos analógicos; possibilitam implementações de filtros digitais e algoritmos especiais como controle adaptativo, fuzzy, neural, etc.

Os equipamentos que implementam malhas de controles digitais de processos contínuos recebem denominações diversas conforme suas categorias de aplicações, entre eles pode-se mencionar: controladores digitais de malha (Single-Loop e Multi-Loops); sistemas digitais de controle distribuídos (SDCDs); controladores lógicos programáveis (PLCs ou CLPs); sistemas de aquisição de dados e outros. A estrutura básica desses equipamentos está ilustrada na figura 7.

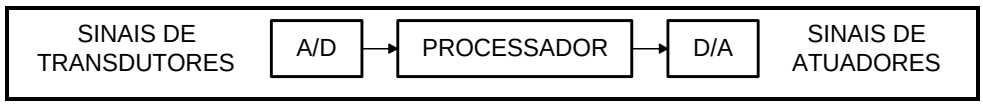


Figura 7 - Estrutura de controladores digitais de processos

Conversores analógicos/digitais (A/D) e conversores digitais/analógicos (D/A) são empregados para fazer interfaces com a instrumentação dos processos a serem controlados. Unidades de processamento (microprocessadores) implementam as funções de controle desejadas, empregando programas dedicados, residentes nas memórias destes equipamentos. Os usuários destes sistemas carregam os parâmetros e configurações de controle e acionam os mesmos para controlar processos diversos. Os ganhos de funções PID dos controladores digitais podem ser ajustados por métodos semelhantes aos de compensadores analógicos. Isto é valido, quando os tempos de varreduras das malhas de controle forem menores que dez vezes a menor constante de tempo, do processo a ser controlado. Caso contrário, devem ser utilizadas técnicas de modelagem e projeto que utilizem a transformada Z.

6.1 UTILIZAÇÃO DE PLACAS DE AQUISIÇÃO NO MÓDULO SERVO 2208

O controle do módulo servomecanismo pode ser feito com placas de aquisição de dados (compradas opcionalmente junto com o módulo). Para efetuar a instalação, deve-se consultar o manual de Instalação e Operação do Sistema de Aquisição de Dados.

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

CAPÍTULO 7 - UTILIZAÇÃO DE OUTROS EQUIPAMENTOS DE CONTROLE COM O MODULO 2208

O Módulo Servomcanismo 2208 pode ser ligado a outros equipamentos de controle (Malhas Analógicas, CLPs, Single-Loops, outras placas de aquisição de dados, etc.). Para isto basta verificar a compatibilidade dos sinais do sistema (disponíveis no conector de acesso) com os equipamentos utilizados. Quaisquer dúvidas consultar a Datapool Eletrônica.

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

CAPÍTULO 8 - EXEMPLOS

8.1 EXEMPLO 1

OBTENÇÃO DOS GANHOS DE UM PI PARA A MALHA DE VELOCIDADE DO SERVO

Sejam as especificações no domínio da frequência: margem de fase (MF) próxima de 65^0; frequência de cruzamento de ganho (Wcg) em torno de 2 [rd/s]; erro em regime permanente (e_{ss}) igual ou menor que 0,3 para entrada de referência tipo rampa, e erro nulo para entrada tipo degrau. Essas especificações no domínio do tempo equivalem aproximadamente a um máximo pico (Mp) em torno de 7% e um tempo de acomodação (Ta) próximo de 3 [seg].

O primeiro passo nos procedimentos de projeto por métodos do domínio da frequência é obter o modelo paramétrico (função de transferência) ou não paramétrico (resposta em frequência) do processo a ser controlado. Isto pode ser feito por medições experimentais, técnicas de identificação de sistemas ou através de métodos numéricos e/ou analíticos (quando já se tem o modelo do sistema). Para este equipamento de servomecanismo a função de modelagem do sistema de rotação é expressa por (3). Para calcular os ganhos do controlador serão usadas as equações (8) conhecidas em livros de sistemas de controle, p.ex., [Phillips e Harbor, 1996].

$$\boxed{Ki \lim_{s \to 0} s^n G(s) = \frac{1}{e_{ss}}}$$

$$\boxed{\begin{aligned} &\alpha = -180^0 + MF - \angle G(jWcg) \\ &\mathrm{Kp} = \frac{\cos\alpha}{|\mathrm{G(jWcg)}|} \\ &\mathrm{Kd} = \frac{sin\alpha}{|G(jWcg)|Wcg} + \frac{\mathrm{Ki}}{\mathrm{Wcg}^2} \end{aligned}} \qquad (8)$$

Através de uma calculadora científica que opere com números complexos é possível calcular o módulo e a fase da função do processo expressa por (3), ou seja: *G(j2) ≅ 1,17∠-55^0*. Logo, α = -180+50-(-55) = -60, assim: *Ki ≅ 1,9 e Kp ≅ 0.89.*. Como o controlador desejado é um *PI* o ganho *Kd* é admitido ser nulo. Para verificar se as especificações foram alcançadas pode-se simular o sistema compensado ou serem realizadas medidas na malha de controle real. Se as especificações não são cumpridas os ganhos calculados são alterados um pouco visando ajustar eventuais imprecisões na modelagem do processo ou do próprio controlador.

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

Dependendo do contexto é necessário usar associações de compensadores ou outras estruturas de controladores mais elaboradas para atingir os objetivos desejados de projeto ou as especificações de operação do sistema.

Em simulações é possível usar *softwares* específicos, entre os quais pode-se citar o *MatLab* da MathWorks. A figura 8 indicada a resposta em frequência do sistema compensado, ou seja, os gráficos do módulo (em decibéis) e da fase da função C(s)G(s). Na figura 9 tem-se a resposta temporal da malha de controle para uma entrada de referência (*set point*) tipo degrau Pode-se verificar nos gráficos dos resultados obtidos através de simulações que as especificações foram razoavelmente cumpridas.

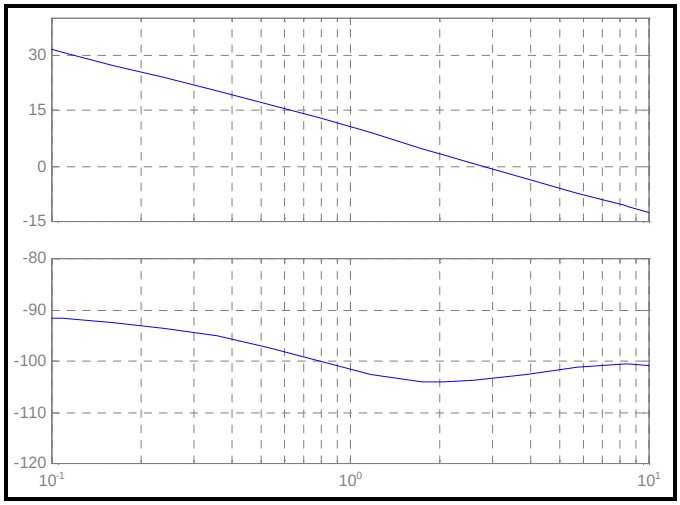


Figura 8 – Resposta em frequência de C(s)G(s)

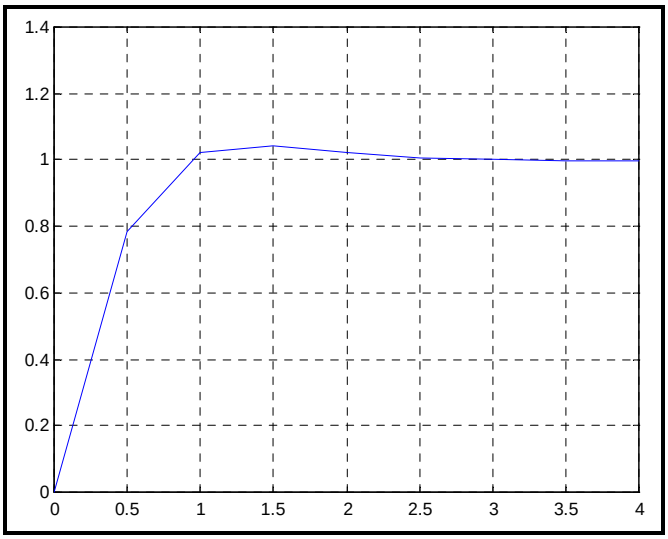


Figura 9 – Resposta ao degrau da malha de controle

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

8.2 EXEMPLO 2

OBTENÇÃO DOS GANHOS DE UM PD PARA A MALHA DE POSIÇÃO DO SERVO

Neste exemplo será usado um método do lugar das raízes para calcular os ganhos do controlador. Sejam as especificações: pólo dominante no domínio *S* próximo de *Sd = -4 ± j8,9*; erro em regime permanente nulo para entrada tipo degrau. As especificações equivalem a uma resposta temporal com aproximadamente um máximo pico (Mp) em torno de 25% e um tempo de acomodação (Ta) próximo de 1 [seg].

O primeiro passo nos procedimentos de projeto por métodos do lugar das raízes é obter o modelo do processo a ser controlado. Usando técnicas de identificação de sistemas e considerando os efeitos de ganho de transdutores, filtros e escalas, obteve-se o modelo aproximado expresso pela função de transferência (8). Para calcular os ganhos do controlador serão usadas as equações (9) conhecidas em livros de sistemas de controle, p.ex., [Phillips e Harbor, 1996]. Com a função do processo traça-se o lugar das raízes para verificar se com apenas ajuste de ganho proporcional é alcançado o pólo especificado. A figura 10 ilustra o gráfico o lugar das raízes resultante.

$$Ki \lim_{s\to 0} s^n G(s) = \frac{1}{e_{ss}};$$

$$Kp = \frac{-sin(\angle Sd + \angle G(Sd))}{|G(Sd)|sin(\angle Sd)} - \frac{2Ki\cos(\angle Sd)}{|Sd|};$$

$$\mathrm{Kd} = \frac{\sin(\angle G(Sd))}{|Sd||G(Sd)|sin(\angle Sd)} + \frac{Ki}{|Sd|^2}. \qquad (9)$$

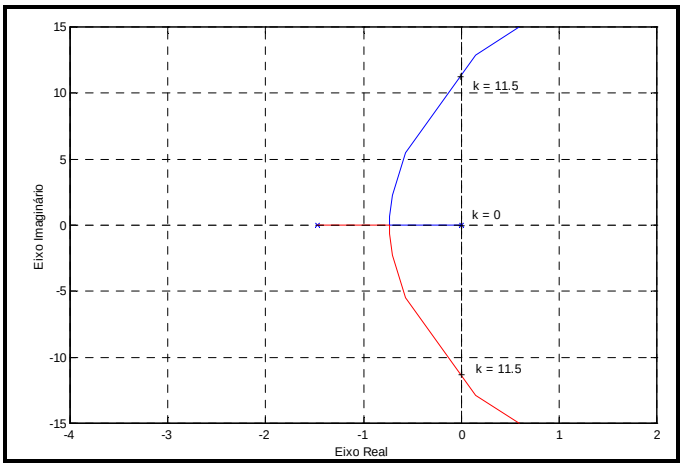


Figura 10 – Lugar das raízes de 1+KG(s)=0

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

Observando o gráfico da figura 10 é fácil notar que o pólo dominante não se encontra sobre o lugar das raízes atual, isto significa que um controlador proporcional apenas não é suficiente para posicionar o pólo desejado. Observa-se também que para ganhos aproximadamente maiores que *K = Kp = 11,5* o sistema em malha fechada fica instável (haverá raízes com parte real positiva).

Através de uma calculadora científica e usando o valor positivo da parte imaginária do pólo dominante pode-se calcular os módulos e ângulos: $Sd \cong 9{,}76\angle 1{,}99\ [rd]$; $G(Sd) \cong 0{,}1\angle 2{,}34\ [rd]$. Considerando que a função do processo tem um pólo na origem, o erro em regime permanente tenderá a zero para entradas tipo degrau, assim não é necessária a parte integral do controlador que poderá ter então um ganho nulo (*Ki=0*). Usando as expressões (9) vem: $Kp \cong 3{,}4$ e $Kd \cong 0{,}3$.

Para comprovar se o sistema atingiu as especificações realizam-se simulações ou medidas reais.

A figura 11 demonstra o gráfico do lugar das raízes do sistema compensado, verifica-se que o pólo dominante está sobre o gráfico, comprovando assim a compensação.

A figura 12 ilustra a resposta temporal do sistema de posicionamento angular em malha fechada para uma entrada tipo degrau unitária. Verifica-se que as especificações desejadas foram razoavelmente cumpridas.

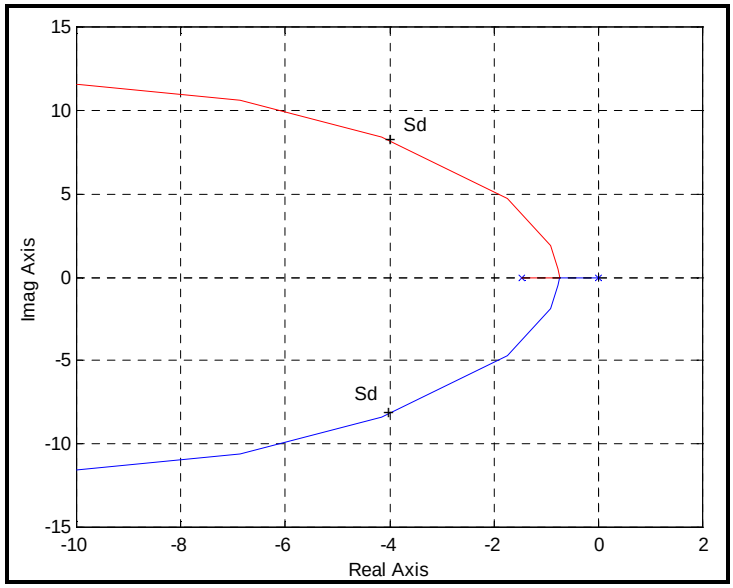


Figura 11 – Lugar das raízes de 1+C(s)G(s)=0

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

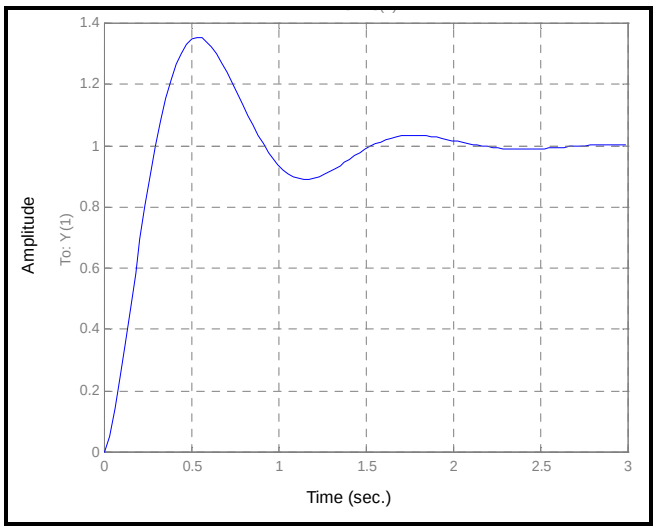


Figura 12 – Resposta temporal do sistema em malha fechada

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

CAPÍTULO 9 - EXPERIÊNCIAS

9.1 EXPERIÊNCIA 1

CONTROLE DE VELOCIDADE ANGULAR NO MÓDULO 2208

a) Inserir a placa CONTROLE PID VELOCIDADE no conector de acesso do módulo servomecanismo 2208, de tal forma que o primeiro pino da placa seja conectado no pino do conector identificado por K1. O esquema elétrico da placa CONTROLE PID está ilustrado na figura 13.

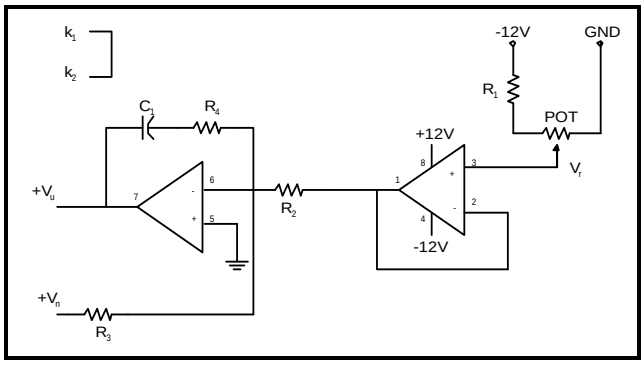


Figura 13 – Controlador PI

b) Alimentar o circuito da placa ligando o fio vermelho no +12V e o fio marrom em –12V, conforme identificação do conector CN1 da placa CONTROLE PID VELOCIDADE.

c) O jumper de seleção J1/J2 deve estar do lado esquerdo, para desabilitar o circuito de distúrbio.

d) Ligar a chave de energia do módulo, atuar em *Vref* da placa para definir uma rotação no sistema. Monitorar com dois voltímetros (escalas em tensões contínuas) as tensões *Vr* (valor de referência da velocidade desejada), no pino 3 do CI da placa de CONTROLE PID VELOCIDADE e *Vn* (informação da rotação medida do sistema), no conector do módulo 2208 e observar que este valor tende a ser igual ao da referência, comprovando o funcionamento da malha de controle de velocidade. O controlador *PI* é implementado pelo segundo amplificador operacional do circuito integrado *LM358*, pelos resistores R_2, R_3, R_4 e o capacitor C_1. O ganho proporcional é dado pela relação R_4/R_2 (R_4/R_3), assim *Kp=1* (valor próximo do calculado anteriormente). O ganho integral é expresso pelo inverso de R_2C_1 (R_3C_1), logo *Ki = 1* (bem próximo do valor previamente calculado).

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

OBSERVAÇÃO:

Para visualizar a influência do circuito distúrbio, coloque o jumper de seleção J1/J2 do lado direito, executando experiência controle de velocidade baixo rotação, através do potenciômetro P1 (distúrbio) rapidamente sentido horário e anti-horário, várias vezes.

9.2 EXPERIÊNCIA 2

CONTROLE DE POSIÇÃO ANGULAR NO MÓDULO 2208

a) Inserir a placa CONTROLE PID POSIÇÃO no conector de acesso do módulo servomecanismo 2208, de tal forma que o primeiro pino da placa seja conectado no pino do conector identificado por +VU. O esquema elétrico da placa CONTROLE PID está ilustrado na figura 14. A placa PID, a posição deverá ser inserida nos conectores +VU, +VA e –VN.

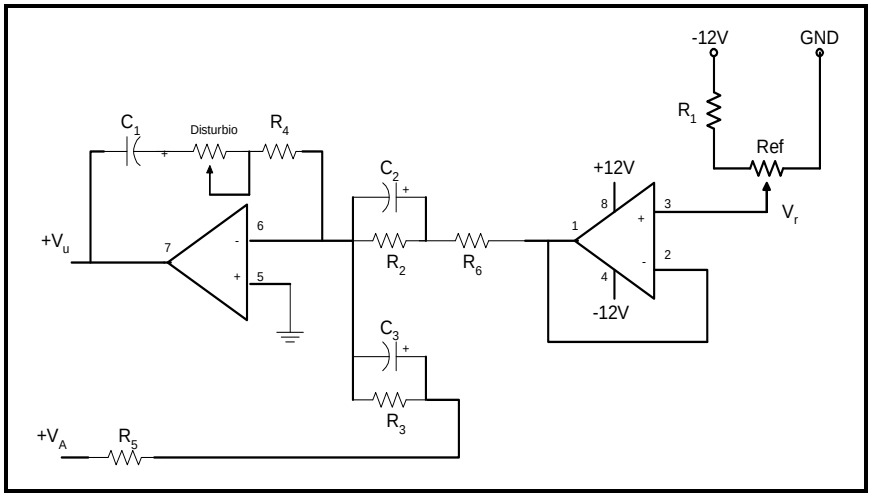


Figura 14 – Controlador PD-PID

b) Alimentar o circuito da placa ligando o fio vermelho no +12V e o fio marrom em –12V, conforme identificação do conector CN1 da placa CONTROLE PID POSIÇÃO.

c) Colocar o strap de seleção J1/J2 do módulo do lado esquerdo.

d) Ligar o módulo, variar o cursor do potenciômetro *REF* da placa. *V*erificar visualmente que o ângulo do braço/ponteiro do servo-mecanismo altera-se de forma proporcional na faixa de aproximadamente 35^0 até 320^0. Isto também pode ser verificado monitorando a tensão V_A para a informação de ângulo no conector de acesso de sinais

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

do módulo (o valor dessa tensão está relacionado com valores angulares segundo relações já descritas anteriormente, sendo aproximadamente 1 [V] para cada 90^0). Para um determinado ângulo ajustado no potenciômetro de referência, tentar deslocar suavemente a haste do mecanismo visando causar um distúrbio mecânico no sistema. Verificar que a malha de controle tende a voltar a haste na posição ajustada, comprovando assim a atuação do controlador. Desligando o módulo, deslocando a haste de posição e ligando novamente a chave de alimentação do sistema, verifica-se que a mesma volta na posição definida pelo valor de *REF*. Pode-se usar osciloscópios digitais para registrar a dinâmica da malha de controle.

e) Rotacionar o cursor do potenciômetro DISTURBIO da *placa,* para inserir distúrbio no sistema. Neste caso a haste se move continuamente, devido à instabilidade do sistema provocada pelo potenciômetro *DISTURBIO.* Voltar o curso do potenciômetro DISTURBIO para a posição inicial para tornar o sistema estável novamente.

9.3 EXPERIÊNCIA 3

CONTROLE DE VELOCIDADE COM AQUISIÇÃO DE DADOS

a) Instalar o software da National de Aquisição de Dados (2 discos NI DAQ MX).

b) Instalar o software executável de Aquisição de Dados (CD Datapool). Programas PID Veloc., PID Pos Lead Lag Vel. e Aloc Posição.

c) Conectar o Sistema de Aquisição (SAD) entre o PC e Módulo 2208.

d) Efetuar as ligações indicadas na tabela 1, mantendo o módulo com a chave de alimentação (na parte de trás) do mesmo desligado (o led indicador deve estar apagado). Manter o J1 / J2 na posição esquerda.

CONECTOR DE ACESSO	SISTEMA DE AQUISIÇÃO - SAD
+VN	AI1 (pino 5)
+Vu	AO0 (pino 14)
-VN	GND (pino 1)

Tabela 1 – Ligação entre as placas de aquisição e o módulo 2208

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

e) Na pasta “INSTALLER”, localizada dentro da pasta PID VELOCIDADE, dar duplo clique em setup.exe para instalar o aplicativo. Após instalação abrir o aplicativo “PID VELOCIDADE.exe”. Deverá aparecer uma tela semelhante a da figura 15.

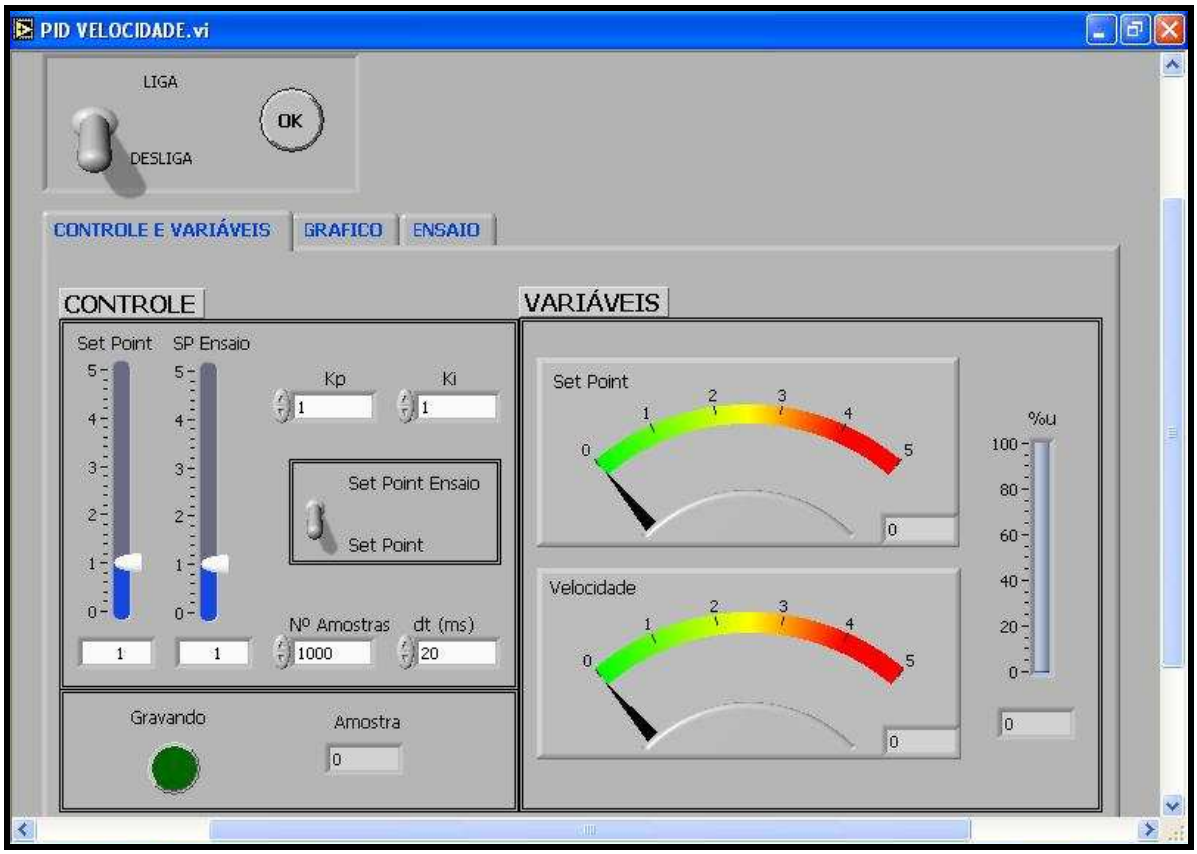


Figura 15 – Exemplo de tela de configuração e supervisão de controle de velocidade

f) Entrar com os ganhos: Kp = 1; Ki = 1.

g) O valor de referencia pode ser digitado no campo SET POINT ou simplesmente deslocar a barra até o valor desejado, por exemplo, 2.

h) Ligar o módulo na rede elétrica de 127 [V], 60 [Hz], e sua chave geral, localizada na parte de trás do equipamento. Esperar alguns segundos até o led indicador do módulo ascender.

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

i) Acionar a chave LIGA/DESLIGA, colocando a na posição LIGA, do programa de controle. A malha de controle deve começar a operar e o indicador VELOCIDADE deve indicar o valor da rotação (em volts) atual (depois de certo tempo este valor deve estar próximo do dado da referência). Outros valores de referências podem ser digitados e o sistema deve responder aos mesmos. Perturbações introduzidas pelo potenciômetro, distúrbio ou tentativas suaves em tentar segurar a haste com uma caneta, serão compensadas adequadamente pela malha de controle.

j) Na janela GRÁFICO pode-se observar a entrada e a saída do sistema.

k) Para visualizar distúrbio sistema, mude J1/J2 na posição direita, e curto circuitar K1 e K2. Colocar set point programa em 0,5 V, e plotar o gráfico atuando no potenciômetro P1 distúrbio e observar correção. A escala do gráfico e ensaio pode ser mudada, entrando com o valor desejado na escala do próprio gráfico

l) A chave SET POINT ENSAIO serve para realizar o registro da dinâmica do sistema, com o valor do SET POINT, no bloco identificado por VARIÁVEIS, mudando do valor do campo SET POINT para o valor SET POINT ENSAIO. Os ensaios realizados podem ser visualizados na janela ENSAIO. O número de amostras da experiência e o período de varredura da malha de controle podem ser ajustados, para se obter a escala de tempo do ensaio. Durante o ensaio o led GRAVANDO ficará aceso, desligando no término do mesmo.

m) Os gráficos dos ensaios também são gravados em um arquivo velocidade.xls na unidade C, o qual podem ser visto, posteriormente, em um gráfico do Excel.

n) Para encerrar o controle, colocar a chave LIGA/DESLIGA na posição DESLIGA e pressionar o botão OK.

o) O programa será encerrado, mas o módulo manterá a última informação.

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

9.4 EXPERIÊNCIA 4

CONTROLE DE POSIÇÃO COM AQUISIÇÃO DE DADOS

a) Efetuar as ligações indicadas na tabela 2, mantendo o módulo com a chave de alimentação (na parte de trás) do mesmo desligada (o led indicador deve estar apagado).

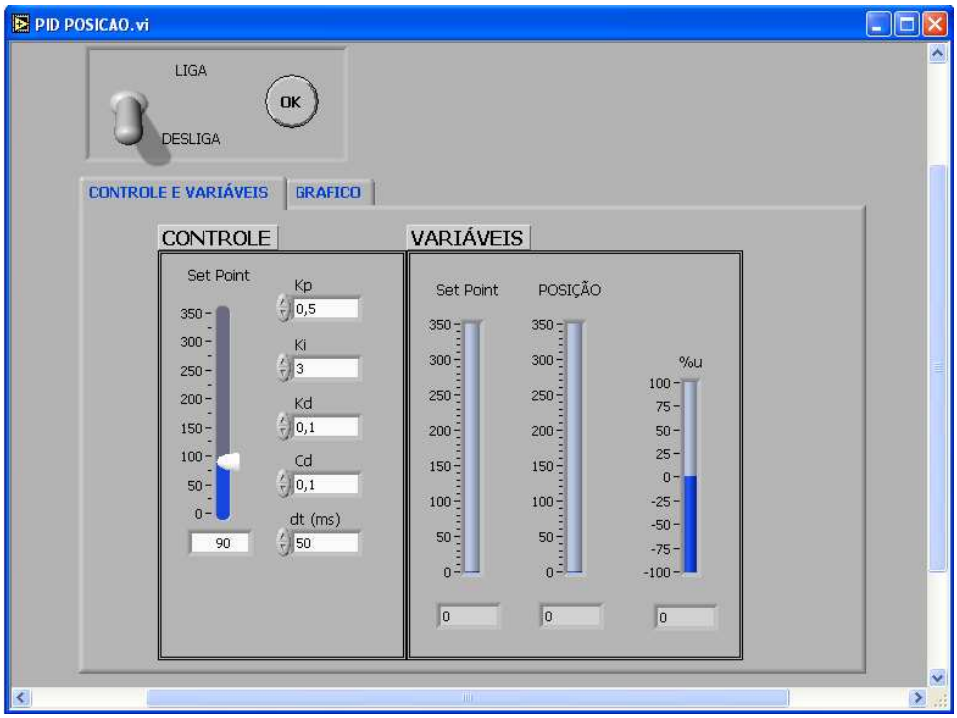
CONECTOR DE ACESSO	PLACA DE AQUISIÇÃO
+VA	AI0 (pino 2)
+VD	AO0 (pino 14)
-VN	GND (pino 1)

Tabela 2 – Ligação entre as placas de aquisição e o módulo 2208

b) Configurar o jumper de seleção J1/J2 do módulo do lado esquerdo (J1).

c) Curto-circuitar os pontos VDu e +Vu.

d) Na pasta “INSTALLER”, localizada dentro da pasta PID POSICAO, dar duplo clique em setup.exe para instalar o aplicativo. Após instalação abrir o aplicativo “PID POSICAO.exe”. Deverá aparecer uma tela semelhante a da figura 16.



Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

Figura 16 – Exemplo de tela de configuração e supervisão de controle de posição

e) Entrar com os ganhos: Kp = 0,5; Ki = 3; Kd = 0,1; Cd = 0,1; dt (ms) = 50;

f) O valor de referencia pode ser digitado no campo SET POINT ou simplesmente deslocar a barra até o valor desejado, por exemplo, 90.

g) Ligar o módulo na rede elétrica de 127 [V], 60 [Hz], e sua chave geral, localizada na parte de trás do equipamento. Esperar alguns segundos até o led indicador do módulo ascender.

h) Acionar a chave LIGA/DESLIGA, colocando a na posição LIGA, do programa de controle. A malha de controle deve começar a operar e o indicador POSICAO deve indicar o valor da posição atual (depois de certo tempo este valor deve estar próximo do dado da referência). Outros valores de referências podem ser digitados e o sistema deve responder aos mesmos. Perturbações introduzidas pelo potenciômetro, distúrbio ou tentativas de mover a haste de lugar, serão compensadas adequadamente pela malha de controle.

i) Na janela GRÁFICO pode-se observar a entrada e a saída do sistema.

j) Para encerrar o controle, colocar a chave LIGA/DESLIGA na posição DESLIGA e pressionar o botão OK.

9.5 EXPERIÊNCIA 5

CONTROLE DE VELOCIDADE COM CONTROLADOR LEAD/LAG

Outra experiência a ser realizada é utilizando uma função de controlador do tipo *lead/lag* (avanço/atraso de fase). Os cálculos dos parâmetros do controlador podem ser encontrados em livros de sistemas de controle, ver [Phillips e Harbor, 1996].

a) Fazer as configurações e ligações descritas na experiência 3 (item 9.3).

b) Na pasta “INSTALLER”, localizada dentro da pasta LEAD LAG VELOCIDADE, dar duplo clique em setup.exe para instalar o aplicativo. Após instalação abrir o aplicativo “LEAD LAG VELOCIDADE.exe”. Deverá aparecer uma tela semelhante a da figura 17.

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

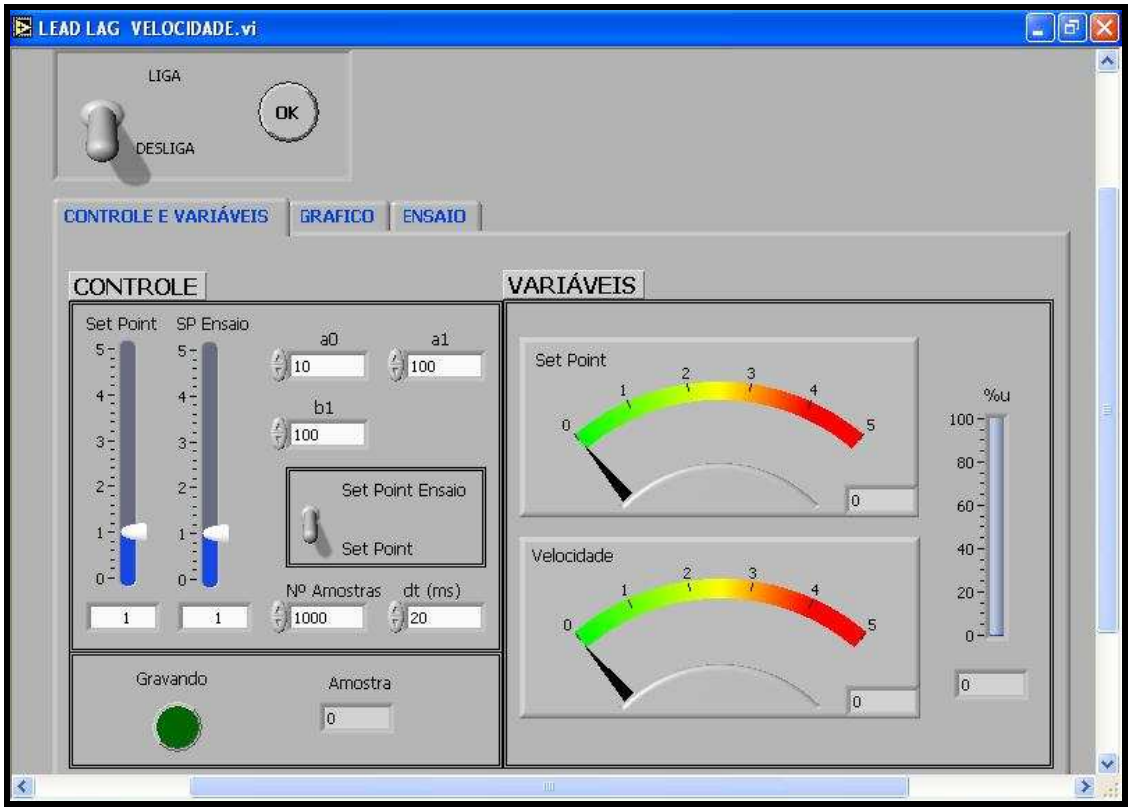


Figura 17 – Exemplo de tela de configuração de controle de velocidade através de lead/lag

c) Entrar com os ganhos: a0 = 10; a1 = 100; b1 = 100.

d) O valor de referencia pode ser digitado no campo SET POINT ou simplesmente deslocar a barra até o valor desejado, por exemplo, 2.

e) Ligar o módulo na rede elétrica de 127 [V], 60 [Hz], e sua chave geral, localizada na parte de trás do equipamento. Esperar alguns segundos até o led indicador do módulo ascender.

f) Acionar a chave LIGA/DESLIGA, colocando a na posição LIGA, do programa de controle. A malha de controle deve começar a operar e o indicador VELOCIDADE deve indicar o valor da rotação (em volts) atual (depois de certo tempo este valor deve estar próximo do dado da referência). Outros valores de referências podem ser digitados e o sistema deve responder aos mesmos. Perturbações introduzidas pelo potenciômetro, distúrbio ou tentativas suaves em tentar segurar a haste com uma caneta, serão compensadas adequadamente pela malha de controle.

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

g) Na janela GRÁFICO pode-se observar a entrada e a saída do sistema.

h) A chave SET POINT ENSAIO serve para realizar o registro da dinâmica do sistema, com o valor do SET POINT, no bloco identificado por VARIÁVEIS, mudando do valor do campo SET POINT para o valor SET POINT ENSAIO. Os ensaios realizados podem ser visualizados na janela ENSAIO. O número de amostras da experiência e o período de varredura da malha de controle podem ser ajustados, para se obter a escala de tempo do ensaio. Durante o ensaio o led GRAVANDO ficará aceso, desligando no término do mesmo.

i) Os gráficos dos ensaios também são gravados em um arquivo velocidade.xls na unidade C, o qual podem ser visto, posteriormente, em um gráfico do Excel.

j) Para encerrar o controle, colocar a chave LIGA/DESLIGA na posição DESLIGA e pressionar o botão OK.

9.6 EXPERIÊNCIA 6

CONTROLE DE POSIÇÃO COM ALOCAÇÃO DE PÓLOS

Comparada com as técnicas de controle da abordagem clássica (PID e lead-lag), a Alocação de Pólos permite uma abordagem onde é possível se alocar todos os pólos do sistema e não apenas os pólos dominantes como demonstram Ogatha [1]. No modelo clássico, o equacionamento é feito sobre o conceito de função de transferência, que representa a relação da saída pela entrada no domínio de ***s***, segundo a transformada de Laplace.

Para a alocação de pólos, a equação diferencial de ordem n que modela o sistema é convertida em um sistema de n equações diferenciais de ordem 1 originando um conjunto de matrizes denominado espaço de estados que modelam o sistema. Sobre as matrizes de estado e as variáveis de estado é que se desenvolve a matemática dos ganhos de retroação, sendo assim possível à alocação de pólos no sistema em questão. A figura 18 mostra a representação do sistema em matrizes de estado.

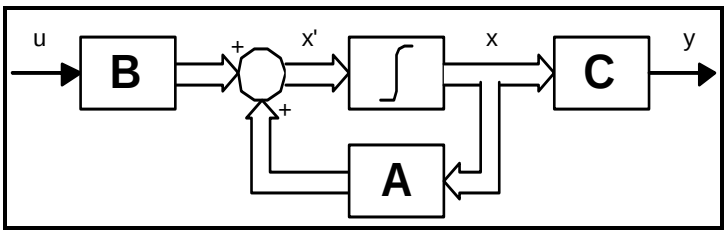


Figura 18 – Representação em matrizes de estado

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

a) Efetuar as ligações indicadas na tabela 3, mantendo o módulo com a chave de alimentação (na parte de trás) do mesmo desligado (o led indicador deve estar apagado).

CONECTOR DE ACESSO	PLACA DE AQUISIÇÃO
+VA	AIO (pino 1)
+VN	AI1 (pino 5)
+VD	AO0 (pino 14)
-VN	GND (pino 1)

Tabela 3 – Ligação entre as placas de aquisição e o módulo 2208

b) Configurar o jumper de seleção J1/J2 do módulo do lado esquerdo (J1).

c) Curto-circuitar os pontos VDu e +Vu.

d) Na pasta “INSTALLER”, localizada dentro da pasta ALOCAÇÃO POSICAO, dar duplo clique em setup.exe para instalar o aplicativo. Após instalação abrir o aplicativo “ALOCAÇÃO POSICAO.exe”. Deverá aparecer uma tela semelhante a da figura 19.

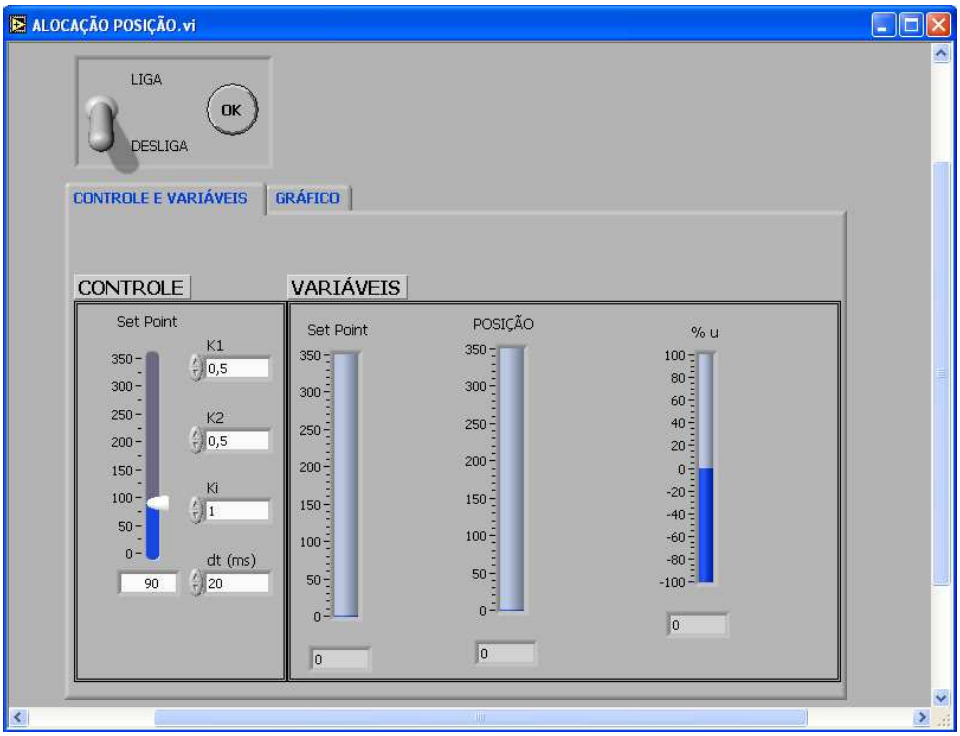


Figura 19 – Exemplo de tela de configuração e supervisão de controle de posição

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

e) Entrar com os ganhos: K1 = 0,5; K2 = 0,5; Ki = 2,5; dt (ms) = 50;

f) O valor de referencia pode ser digitado no campo SET POINT ou simplesmente deslocar a barra até o valor desejado, por exemplo, 90.

g) Ligar o módulo na rede elétrica de 127 [V], 60 [Hz], e sua chave geral, localizada na parte de trás do equipamento. Esperar alguns segundos até o led indicador do módulo ascender.

h) Acionar a chave LIGA/DESLIGA, colocando a na posição LIGA, do programa de controle. A malha de controle deve começar a operar e o indicador POSICAO deve indicar o valor da posição atual (depois de certo tempo este valor deve estar próximo do dado da referência). Outros valores de referências podem ser digitados e o sistema deve responder aos mesmos. Perturbações introduzidas pelo potenciômetro, distúrbio ou tentativas de mover a haste de lugar, serão compensadas adequadamente pela malha de controle.

i) Na janela GRÁFICO pode-se observar a entrada e a saída do sistema.

j) Para encerrar o controle, colocar a chave LIGA/DESLIGA na posição DESLIGA e pressionar o botão OK.

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

CAPÍTULO 10 - CALIBRAÇÃO DO MÓDULO SERVO 2208

10.1 INTRODUÇÃO

O **Módulo de Servomecanismo 2208** já vem devidamente calibrado. Os ensaios contidos na apostila de experiências podem ser executados independentemente dos procedimentos deste manual. Convêm ressaltar que nas experiências, parâmetros que façam o módulo funcionar fora da sua faixa linear de operação, pode aparentar problemas no sistema de servo-mecanismo, placas de aquisição ou programas que não os são de fato. Nestas situações bastas reiniciar os programas e/ou desligar e ativar o módulo novamente.

10.2 TESTE INICIAL

Ao ligar o módulo se o led não acender verificar o fusível, e verificar as fontes de 5 V, +12V e -12V.

10.3 CALIBRAÇÃO

a) Em **P2**, ajustar com o módulo desligado 250 ohms entre os pontos do conector de acesso **"+IU"** e **"-IU "**

b) Em **P5**, ajustar com o módulo desligado 250 ohms entre os pontos do conector de acesso **"-IA"** e **"GND"**.

c) Em **P6**, ajustar com o módulo desligado 250 ohms entre os pontos do conector de acesso **"-IN"** e **"GND"**.

d) Conectar J1 / J2, na posição direita e ligar o módulo, este deverá rotacionar no sentido anti-horário, J1 / J2, na posição esquerda o motor para.

e) Com o jumper J1 / J2 na posição esquerda, conectar o multímetro nos pontos do conector de acesso **+VA** e **-VA** e girar o ponteiro com a mão. Na posição **90º**, o multímetro deverá indicar 1,10V, **180º** deverá indicar 2,3V e **270º** deverá indicar 3,5V.

f) Caso necessite ajustar o item anterior, colocar o ponteiro na posição de 90º, com uma chave de fenda, solte o potenciômetro do ponteiro forçando levemente para cima. Gire o cursor do potenciômetro até indicar 1,10V no multímetro. Cuidadosamente encaixe o potenciômetro no ponteiro e refaça o teste do item **"e"**

Nestas condições, o módulo estará preparado para executar as experiências proposta neste manual.

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

10.4 IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS DE ACESSOS DO CONECTOR

K1 Terminal central do potenciômetro P1 (distúrbio);

K2 Entrada do circuito amplificador (distúrbio);

+VD Entrada do circuito deslocador;

+VA Saída do circuito de rotação do ponteiro;

+VN Saído do circuito de condicionador de velocidade;

+VU Entrada da referência 0 a 5V do servomotor

VDU Saída do circuito deslocador;

-VA, -VU, -VN, - VD Referência GND;

+IN e -IN Saída do circuito de condicionador de velocidade, usando conversor V/I;

+IA e -IA Saída de VA usando conversor V/I

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.

CAPÍTULO 11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Aguirre, L. A. “Introdução à Identificação de Sistemas”. Editora UFMG, 2000.

[2] Ogata, K. “Engenharia de Controle Moderno”. Prentice Hall do Brasil, 3ª ed., 1998.

[3] Phillips, C. L., Harbor, R. D. “Sistemas de Controle Realimentados”. Makkron Books do Brasil, 1997 (tradução da versão de 1996 da Prentice Hall).

[4] Manual do MatLab. MatWorks, 1999.

Este Manual tem por objetivo único fornecer as informações necessárias à realização de experiências no equipamento DATAPOOL correspondente.
Não é permitido seu uso para quaisquer outras finalidades sem a autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.
Não é permitida a reprodução total ou parcial deste Manual, por quaisquer meios, sem autorização expressa da DATAPOOL ELETRÔNICA.